

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA EN LA RESISTENCIA A  
COMPRESION DE MORTEROS HIDRAULICOS.



DAYANA DEL CARMEN JULIO LÓPEZ

LUIS ANGEL MORALES RODRIGUEZ

PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL EN INGENIERIA  
CIVIL

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

BARRANQUILLA

2018

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA EN LA RESISTENCIA A  
COMPRESION DE MORTEROS HIDRAULICOS.

DAYANA DEL CARMEN JULIO LÓPEZ

LUIS ANGEL MORALES RODRIGUEZ

DIRECTOR

YOLEIMY AVILA PEREIRA, M. Sc.

CODIRECTOR

YAMITH CANTILLO

PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL EN INGENIERIA

CIVIL

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

BARRANQUILLA

2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

### **Dedicatoria**

Primero que todo, agradezco a Dios por su inmensa bondad, por permitirme obtener cosas que en algún momento no creí posibles. Este paso que alcanzo se lo dedico a mis abuelos, quienes en cada momento me transmitieron su amor y son mi motivación para cada logro que consigo, a mis padres que con su ayuda y sacrificio han logrado sacarme adelante a lo largo de mi vida, a mis hermanos quienes han contribuido en mi crecimiento personal, a la persona que hoy está a mi lado por enseñarme a ser paciente y a valorar los detalles y momento que nos regala Dios.

Al cuerpo de docentes que, a lo largo de la carrera, lograron transmitirme sus conocimientos, en especial a esos quienes con su mano dura lograron forjar conocimientos duraderos. A nuestra directora de proyecto, quien siempre tuvo la disposición y carisma para lograr cumplir esta meta propuesta.

Finalmente, a la Universidad de la Costa, el ente educativo que año tras año logró que mi amor por esta profesión creciera.

*Dayana Julio López*

### **Dedicatoria**

Agradezco primeramente a Dios por darme sabiduría, paciencia y motivación para la realización de este trabajo, a mis padres por su compañía, entrega y apoyo incondicional siendo pilares fundamentales en mi formación como persona.

A la Ing. Yoleimi Ávila, por su paciencia, guía y motivación, a ella gracias por creer y tener la confianza en nuestras capacidades, por estar dispuesta a ser promotora y participe de este importante logro.

Gracias a mi compañera de tesis, por su motivación, compañía, entereza, insistencia y amor en la realización de este trabajo, en parte gracias a ella se hizo posible este proceso, que tuvo lugar a emociones, discusiones, risas, hasta llegar a la correcta y precisa finalización de nuestro proyecto.

A mi alma mater, con gran sentido de pertenencia, gracias por haberme permitido formarme como profesional y como persona en ella, gracias a todos aquellos que hicieron posible este trabajo, a nuestra compañera Ángela Morales, quien hizo parte activa en nuestro trabajo.

A mis amigos y compañeros de estudio, quienes siempre estuvieron ahí para escucharnos, ayudarnos y apoyarnos en cada momento en el cual necesitamos compañía. A todos quienes fueron parte de este proyecto y a quienes fueron parte de mi educación, a la profesora Enith, quien nos proporcionó su laboratorio, gracias a todos y cada uno de ellos.

*Luis Ángel Morales Rodríguez*

### **Agradecimientos**

A Dios primero que todo, quien nos permitió lograr la superación de los obstáculos que se presentaron a lo largo de este proceso, y mantenernos siempre con la motivación para alcanzar esta meta que ambos nos propusimos.

A nuestros padres, pilares fundamentales en nuestro crecimiento y formación personal y profesional

A la Ing. Yoleimy Ávila, directora del proyecto de grado, por su paciencia para con nosotros durante la elaboración de este proyecto. Por transmitirnos conocimientos los cuales serán de gran ayuda para nuestra vida laboral.

A nuestra compañera y amiga, Ángela Morales, estudiante de ingeniería civil de la Universidad de la Costa, por brindarnos su tiempo y colaboración durante la ejecución del proyecto

### Resumen

Actualmente uno de los principales problemas que genera el sector de la construcción, es el importante daño ambiental que produce, entre los principales se encuentra el uso desmesurado del agua potable, especialmente en la elaboración de morteros y concretos, por lo que resulta necesaria la búsqueda de alternativas para realizar estos procesos de manera sostenible, para mitigar el impacto producido por esta práctica.

Este trabajo de investigación busca encontrar alternativas sostenibles, entre la cual se encuentra la elaboración de morteros hidráulicos con aguas lluvias, lo que produciría un impacto positivo, reduciendo el uso de agua potable. Inicialmente se realizó la caracterización del agua lluvia, para comprobar que esta cumpla con los estándares de calidad establecidos en la norma colombiana NTC. Para ser usada en la elaboración mortero, donde se tienen en cuenta características físicas y químicas tales como: Turbiedad, color, dureza, alcalinidad, pH, entre otros.

Se llevó a cabo la elaboración de morteros hidráulicos, con agua lluvia y agua potable como control positivo, a los que se le realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, a partir de los resultados se dieron lugar a las comparaciones y posteriores conclusiones.

***Palabras clave:*** concreto, sostenible, lluvias, mortero, resistencia, compresión

**Abstrac**

Currently one of the main problems generated by the construction sector, is the significant environmental damage that occurs, among the main is the excessive use of drinking water, especially in the use and manufacture of concrete, so it is necessary to search of alternatives to carry out these processes in a sustainable manner, to mitigate the impact produced by this practice.

A constant search is kept for this type of sustainable alternatives, among which is the production of concrete with rainwater, which would produce a positive impact, reducing the use of potable water, so as a first step a characterization of rainwater, to see if it met the quality standards established in the standard to be used in concrete, which takes into account physical and chemical characteristics such as: Turbidity, color, hardness, alkalinity, pH, among others.

The construction of hydraulic mortars, made with rainwater, and drinking water as a positive control, were carried out, which underwent compression tests at 7, 14 and 28 days, from the results were given place to the comparisons and later conclusions.

***Keywords:*** concrete, sustainable, rain, mortar, resistance, compressio

## Contenido

	<b>PÁG.</b>
Introducción	15
1. Planteamiento del problema	16
2. Objetivos.	17
2.1.Objetivo general	17
2.2.Objetivo específico	17
3. Marco referencial	18
3.1.Marco teórico	18
3.1.1. Mortero	18
3.1.1.2. Tipos	18
3.1.1.2.1. Morteros calcáreos	18
3.1.1.2.2. Morteros de cal y cemento	19
3.1.1.2.3. Mortero de cemento	19
3.1.1.2.4. Morteros aéreos	20
3.1.1.2.6. Mortero de yeso	20
3.1.1.2.7. Morteros de cal y cemento	20
3.1.2. Agua	21
3.1.2.1. Agua para mezclado de concreto y/o mortero	21
3.1.2.1.1. Agua de hidratación	22
3.1.2.1.2. Agua evaporable	22
3.1.2.2. Características químicas y físicas del agua de mezclado	23
3.1.2.2.1. Consideraciones de agua de mezcla	23
3.1.2.3. Efectos de impurezas en el agua de mezclado	24
3.1.2.3.1. Carbonatos y bicarbonatos	24
3.1.2.3.2. Cloruros y sulfatos	24
3.1.2.4. Agua para curado	26
3.1.3. Propiedades fisicoquímicas de aguas lluvia	27
3.1.4. Análisis estadístico	28

3.1.4.1.	Desviación típica o desviación estándar:	28
3.1.4.2.	Coefficiente de variación	28
3.2.	Estado del arte	29
4.	Presupuesto	33
5.	Metodología	33
5.1.	Captación de agua	33
5.2.	Caracterización de agua lluvia:	34
5.3.	Elaboración de moldes	35
5.4.	Diseño de mezcla	37
5.4.1.	Cemento	37
5.4.2.	Arena	38
5.4.3.	Agua	39
5.5.	Elaboración de especímenes	39
5.6.	Desencofrado	41
5.7.	Curado	41
5.8.	Falla de especímenes	44
6.	Resultados	46
6.1.	Caracterización de materiales	46
6.1.1.	Caracterización del agua	46
6.1.2.	Granulometría	48
6.2.	Proporciones para el diseño de la mezcla de mortero	50
6.2.1.	Relación agua cemento	51
7.	Análisis resultados	53
7.1.	Resistencias obtenidas de la falla de los especímenes de mortero hidráulico	53
7.1.1.	Resistencia a los 7 días	53
7.1.2.	Resistencia a los 14 días	54
7.1.3.	Resistencia a los 28 días	54
7.1.4.	Comparación de datos obtenidos	55
7.1.5.	Grafica comparativa de resistencias	55
6.2.	Análisis estadístico de los resultados	56

7.3. Análisis de datos a través de la ecuación del error porcentual	57
7.3.1. Variación a los 7 días	57
7.3.2. Variación a los 14 días.	57
7.3.3. Variación a los 28 días.	57
8. Conclusiones	59
Referencias	61
ANEXOS	63

### Lista de tablas y figuras

#### Tablas.

Tabla 1: Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de las mezclas	26
Tabla 2: Clasificación del agua lluvia de acuerdo con el pH.....	27
Tabla 3: Presupuesto utilizado para la ejecución del proyecto .....	33
Tabla 4: Parámetros fisicoquímico de la calidad del agua.....	35
Tabla 5: Cantidades de materiales para la elaboración de especímenes según cantidad .....	37
Tabla 6: Ficha técnica de cemento utilizado.....	38
Tabla 7: Requerimientos de arena para cubos de mortero .....	39
Tabla 8: Resultados obtenidos de la caracterización del agua lluvia.....	47
Tabla 9: Valores obtenidos de agua lluvia y valores exigidos por las normas de agua potable y agua para concretos. ....	47
Tabla 10: porcentaje requerido por la INV E 232. 07 para la arena para morteros.	49
Tabla 11: resultados arena utilizada vs resultados exigidos por la norma. ....	49
Tabla 12: Dosificación de materiales según la Norma ASTM C109.....	51
Tabla 13: relación A/C Vs Resistencia a la compresión del cemento .....	52
Tabla 14: Resistencia a la compresión a los 7 días .....	53
Tabla 15: Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 14 días	54
Tabla 16: Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 28 días	54

Tabla 17: Resultados de desviación estándar y coeficiente de variación de los datos.

.....56

Tabla 18: variación entre la resistencia del agua lluvia y agua potable, con respecto a

la media. ....56

### **Figuras.**

Figura 1: Captación de agua en el municipio de Sabanalarga 34

Figura 2: Equipos utilizados para la caracterización de agua lluvia .....35

Figura 3: Moldes utilizados para la realización de los especímenes antes de impermeabilizar .....36

Figura 4: Emulsión asfáltica utilizada para la impermeabilización de moldes de madera.....36

Figura 5: Moldes de madera impermeabilizados .....37

Figura 6: Elaboración de especímenes.....40

Figura 7: Especímenes de agua lluvia terminados .....40

Figura 8: Etiqueta de especímenes.....41

Figura 9: Desencofrado de especímenes, 24 horas después de elaborados .....41

Figura 10: Especímenes previos a la etapa de curado.....42

Figura 11: Preparación de agua con cal para curado .....43

Figura 12: Especímenes sumergidos en agua con cal.....43

Figura 13: Curado de especímenes en agua potable .....44

Figura 14: Falla de especímenes en el laboratorio INCOSUELOS .....45

Figura 15: Espécimen de mortero después de fallado.....	45
Figura 16: Comparación de material utilizado VS Material exigido por la Norma NTC 323 - 07 a través de una curva granulométrica. ....	50
Figura 17: Comparación de resistencias obtenidas .....	55
Figura 18: Comparación de resistencia a la compresión VS Tiempo .....	55
Figura 19: evolución de la resistencia a la compresión del agua potable vs agua lluvia.....	58

### **Introducción**

Hoy en día en el sector de la construcción, uno de los principales problemas es el excesivo uso de los recursos que nos proporciona la naturaleza, uno de ellos, el agua, el más importante, donde su gasto desproporcionado trae consigo un impacto ambiental negativo, donde su agudeza se incrementa debido a la sobreexplotación, el crecimiento exponencial de la población, la contaminación y a al desmesurado ritmo de la producción industrial y constructiva.

El agua, al ser el recurso preciado necesita una adecuada utilización, por lo que cada día debido a los avances de la tecnología y la ciencia, se ha buscado disminuir el impacto del gasto sobre el ciclo hidrológico, donde se considera que el sector de la construcción utiliza un 17 % del agua potable del planeta según la Cámara Colombiana de Construcción, por lo que una de las alternativas que se han planteado y posteriormente desarrollado es la elaboración de mezclas de hormigón utilizando agua lluvia, lo que contribuiría firmemente el ahorro del líquido, por lo tanto se ha pretendido evaluar si realmente es posible utilizar esta fuente de abastecimiento, verificando la calidad del agua a través de parámetros físico-químicos como: turbiedad, color, pH, oxígeno disuelto y alcalinidad, comparando sus resultados con los establecidos en las normas nacionales e internacionales, para concluir si es viable el uso en la construcción generando beneficios económicos y cuidando el recurso más importante para el ser humano y su subsistencia.

### **1. Planteamiento del problema**

El agua es una de las materias primas fundamentales en la fabricación de morteros y concretos, este fluido al entrar en contacto con el cemento inicia proceso de hidratación en el cual se desarrollan las fases del cemento, desencadenando una reacción química exotérmica. El producto final es un material con propiedades físicas y químicas aptas para la construcción.

Por ser el agua parte del matriz cementante, la calidad de esta, influenciará ampliamente las propiedades mecánicas de morteros y concretos. Y al ser también un líquido fundamental para otros procesos como la agricultura y el consumo humano, en muchas zonas a nivel mundial podría entrar en conflicto el uso del recurso para el desarrollo urbanístico en contravía con los usos de mayor relevancia. Por lo anterior el problema se establece en un solo sentido ¿Cuál es la influencia la calidad del agua lluvia en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos? Esto con el fin de buscar otras alternativas para la preparación de materiales, en las cuales la variable de respuesta se vea poco o nada afectada

## **2. Objetivos.**

### 2.1. Objetivo general

Evaluar la Influencia de la calidad del agua lluvia en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos.

### 2.2. Objetivo específico

- I. Caracterizar fisicoquímicamente muestras de agua lluvia.
- II. Elaborar de acuerdo con la norma ASTM C109 las mezclas de mortero con aguas lluvias y determinar la resistencia a la compresión de morteros a los 7, 14 y 28 días para los distintos especímenes elaborados.
- III. Comparar los resultados de resistencia a la compresión obtenidos de morteros con agua potable y agua lluvia.
- IV. Realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos

### 3. Marco referencial

#### 3.1. Marco teórico

##### 3.1.1. Mortero

##### 3.1.1.1. Origen del mortero

El origen de los morteros está íntimamente ligado al de los conglomerantes, que forman parte importante de su composición: Hace 5000 años aparecen en el norte de Chile las primeras obras de piedras unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indígenas. También los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales volcánicos (cenizas), mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada.

Hasta el siglo XVIII sólo se utilizaban morteros de cal, yesos y materiales puzolánicos.

En el siglo XIX, Vicat realizó una serie de investigaciones que describían el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla, y propuso en 1818 el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad. **(Rodríguez-Mora, 2003)**

##### 3.1.1.2. Tipos

##### 3.1.1.2.1. Morteros calcáreos

Son morteros compuestos por cal, el cual actúa como plastificante y ligador. Es el mortero más manejable, pero esta ventaja se contrarresta con su baja resistencia

debida a su baja velocidad de endurecimiento; la arena actúa evitando agrietamientos y contracciones. Las proporciones más usadas de cal-arena son 1:2(pañetes),1:3 y 1:4(mampostería simple). Este tipo de mortero es utilizado comúnmente en el país en trabajos de acabados en general. (García, 2007)

#### 3.1.1.2.2. Morteros de cal y cemento

Son morteros que contienen cemento, cal, arena; esta combinación ofrece al mortero buena retención de agua, altas resistencia iniciales, trabajabilidad, utilizando como base relaciones 1:2:6 hasta 1:2:10 (cemento: cal: arena) el contenido de agua depende de la consistencia deseada y composición del mortero. A mayor cantidad de cemento, mayor resistencia A mayor cantidad de cal, menor resistencia, mayor retracción. A mayor cantidad de arena, menor resistencia, menor retracción. Estos morteros deben combinarse tratando de aprovechar las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento, teniendo en cuenta que, a mayor cantidad de cal, mayor será la cantidad de agua de mezcla. (García, 2007)

#### 3.1.1.2.3. Mortero de cemento

Son morteros que usan como aglomerantes los cementos naturales o portland. Estos ofrecen alta resistencia, tanto iniciales como después de endurecido. Su elaboración se hace en obra, ya que el tiempo entre el amasado y la colocación, debe ser mínimo, por las propiedades del cemento (Fraguado rápido). Las condiciones de trabajabilidad de la mezcla están directamente relacionadas con la cantidad de cemento. A menor cemento, será más áspera y poco trabajable. (García, 2007)

#### 3.1.1.2.4. Morteros aéreos

Son morteros que endurecen bajo la influencia del aire debido a que pierden agua por secado y por el proceso de carbonatación, fraguan lentamente. (García, 2007)

#### 3.1.1.2.5. Morteros hidráulicos

Morteros también conocidos como morteros acuáticos, que endurecen bajo el agua debido a que, al igual que los cementos naturales, tienen en su composición constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina, lo que le permite adquirir resistencias iniciales relativamente altas. Dentro de estas dos familias, se encuentran diferentes tipos de morteros que se clasifican según el tipo de materiales constituyentes. (García, 2007)

#### 3.1.1.2.6. Mortero de yeso

Son los morteros preparados con yeso hidratado con agua. Se trata de un mortero que comienza a fraguar a los cinco minutos y termina al cuarto de hora aproximadamente, por lo que se tiene que preparar a medida. Dependiendo del grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso, el contenido de agua varía, agregándose en obras corrientes el 50%, en estucos el 60% y en moldes el 70%. (García, 2007)

#### 3.1.1.2.7. Morteros de cal y cemento

Se trata de morteros en los que se sustituye parte del cemento por cal para aumentar la trabajabilidad, teniendo una buena retención de agua y alta resistencia. Según la composición del mortero y la consistencia deseada, las relaciones de mezcla varían. Las relaciones de cemento-cal y arena y agua más utilizadas se encuentran entre

1:2:6 y 1:2:10. Si el contenido de cemento en el mortero es alto tendrá las siguientes características:

- Alta resistencia
- Poco tiempo entre amasado y colocación
- Trabajabilidad media
- Contracción del 3% si el mortero es seco

Si el contenido de cal en el mortero es alto tendrá las siguientes características:

- Menor resistencia
- Mayor tiempo entre amasado y colocación
- Plasticidad y permeabilidad mayor
- Elevada retracción

Si el contenido de arena en el mortero es alto tendrá las siguientes características:

- Baja resistencia
- Baja trabajabilidad
- Poca retracción. (García, 2007)

### 3.1.2. Agua

#### 3.1.2.1. Agua para mezclado de concreto y/o mortero

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los materiales, es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento. Esta nueva estructura es la formación del llamado gel de cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta. En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas, agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable. (Guzman, 2001)

#### 3.1.2.1.1. Agua de hidratación

El agua de hidratación es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel. Es también llamada no evaporable porque en una porción de pasta hidratada se conserva a 0% de humedad del ambiente y 110°C de temperatura. (Guzman, 2001)

#### 3.1.2.1.2. Agua evaporable

El agua restante que existe en la pasta es agua que puede evaporarse a 0% de humedad relativa del ambiente y 110°C de temperatura. Pero no se encuentra libre en su totalidad. (Guzman, 2001)

El agua de mezcla en el concreto tiene como funciones las siguientes:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad de la mezcla.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. (Galicia Pérez & Velásquez Curo, 2016).

### 3.1.2.2. Características químicas y físicas del agua de mezclado

Por lo general, se recomienda que el agua que sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor puede usarse para mezclas de concreto o mortero. Sin embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones sales, cítricos o azúcares, entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto o mortero. De otra parte, el agua que es buena para el concreto no necesariamente es buena para beber.

Para verificar la calidad del agua, se acostumbra a hacer un ensayo de relación de resistencias sobre cubos de mortero a 7, 28 y 90 días de edad, de manera que se considera que el agua es apta para el concreto, si la resistencia de los cubos hechos con el agua cuestionada no es inferior al 90% de la resistencia.

Un exceso de impurezas en el agua de mezclado puede ocasionar manchas (eflorescencias), o corrosión en el acero de refuerzo de concretos. (Guzman, 2001)

#### 3.1.2.2.1. Consideraciones de agua de mezcla

- El agua no debe contener sustancias en suspensión o disueltas que alteren el fraguado del cemento.
- Las aguas muy puras (lluvia) son ácidas si el  $\text{Ph} < 7$ .
- El Agua potable es incolora, inodora, insípida, fresca y no contiene materia orgánica.
- Los mayores problemas del concreto provenientes del agua están relacionados con la cantidad y no con calidad.

- Cuando se sospecha de la calidad del agua lo mejor es hacer ensayos comparativos de cementación, resistencia mecánica y estabilidad del volumen. (Galicia Pérez & . Velásquez Curo, 2016)

### 3.1.2.3.Efectos de impurezas en el agua de mezclado

#### 3.1.2.3.1. Carbonatos y bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre los tiempos de fraguado de los distintos cementos. El carbonato de sodio puede causar muy rápidos fraguados, los bicarbonatos pueden también acelerar o retardar el fraguado. En altas concentraciones estas sales pueden reducir la resistencia del concreto. Cuando la suma de estas sales disueltas exceda de 1.000 ppm, los ensayos sobre sus efectos en los tiempos de fraguado y relación de resistencias a 28 días de edad deben ser efectuados.

#### 3.1.2.3.2. Cloruros y sulfatos

Un alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede generar corrosión en el acero de un concreto reforzado o en los cables de tensionamiento de un concreto preesforzado, debido a que el ion cloro ataca la película de óxido que se forma en el acero. Como los cloruros se pueden introducir al concreto dentro de cada uno de sus componentes por separado (cemento, agregados, agua de mezclado o aditivos), o por exposición a algunas sales o agua de mar, los límites de aceptación de cloruros en el agua de mezclado dependen de la permeabilidad y nivel de exposición del concreto y del nivel de contribución del agua de mezclado en el contenido total de cloruros.

Un alto contenido de sólidos disueltos dentro del agua generalmente presenta altos contenidos de cloruro de sodio o sulfato de sodio. Concentraciones de 20.000 ppm de

cloruro de sodio son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas durante su vida útil. Por el contrario, el agua usada en concreto preesforzado no debe presentar concentraciones del ion cloro superiores a 500 ppm y para el caso de concretos con elementos de aluminio embebidos o galvanizados u otros concretos expuestos a humedad ambiente, el agua no debe presentar concentraciones superiores a 1.000 ppm del ion cloro.

Finalmente, el agua de mezclado que contenga hasta 10.000 ppm de sulfato de sodio puede ser usada satisfactoriamente. Si los sulfatos se presentan como SO, su cantidad está limitada a 3.000 ppm.

Tabla 1:

Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de las mezclas

Impurezas	Máxima concentración tolerada	
	Valor	Unidad
Carbonatos de sodio y potasio	1000	ppm
Cloruro de sodio	20000	ppm
Cloruro, como Cl (concreto preesforzado)	500	ppm
Cloruro, como Cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares galvanizados)	1000	ppm
Sulfato de sodio	10000	ppm
Sulfato, como SO <sub>4</sub>	3000	ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400	ppm
Cloruro de magnesio	40000	ppm
Sulfato de magnesio	25000	ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Sales de hierro	40000	ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500	ppm
Sulfito de sodio	100	ppm
Acido sulfúrico y ácido clorhídrico	10000	ppm
pH	6,0 % a 8,0 %	
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0,5%	
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1,2%	
Azúcar	500	ppm
Partículas en suspensión	2000	ppm
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Agua con algas	0	
Materia orgánica	20	ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35000	ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable	

Fuente: Guzmán, 2001.

#### 3.1.2.4. Agua para curado

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en obras es usual el empleo de la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado.

El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo el concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (Hidratación del Cemento). El concreto alcanza el 70% de su resistencia especificada a los 7 días del vaciado. La resistencia final del concreto depende en gran manera de las condiciones de humedad y temperatura durante este periodo inicial. El 30% o más de la resistencia, puede perderse por un secado prematuro del concreto si la temperatura baja a 5°C o menos durante los primeros días, a menos que se mantenga el concreto continuamente húmedo durante un largo tiempo después del descenso de temperatura. La congelación del concreto fresco puede reducir su resistencia hasta el 50%. (Galicia Pérez & . Velásquez Curo, 2016).

### 3.1.3. Propiedades fisicoquímicas de aguas lluvia

La calidad de las aguas lluvia está directamente relacionada con la calidad del aire. La lluvia es considerada como una sustancia ácida, ya que en su estado natural tiene un pH alrededor de 5,6 unidades. La acidez natural del agua lluvia se genera por el equilibrio existente con el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formando el ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ácido débil.

Tabla 2:

Clasificación del agua lluvia de acuerdo con el pH

pH	Clasificación de la lluvia
pH > 5,6	Lluvia no ácida
4,7 < pH ≤ 5,6	Lluvia ligeramente ácida
4,3 < pH ≤ 4,7	Lluvia medianamente ácida
pH ≤ 4,3	Lluvia fuertemente ácida

Fuente: IDEAM, 2007.

### 3.1.4. Análisis estadístico

#### 3.1.4.1. Desviación típica o desviación estándar:

La desviación estándar, comúnmente representada con  $\sigma$ , se define como la media aritmética de los cuadrados de las desviaciones respecto a la media aritmética, se considera de las medidas más importantes de dispersión.

Se halla a través de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Dónde:

$\sigma$ : Desviación estándar

$X_i$ : Valor de cada variable

$\bar{X}$ : Media Aritmética

$N$ : Número de Datos

#### 3.1.4.2. Coeficiente de variación

El Coeficiente de variación El coeficiente de variación, CV, es un cociente entre el desvío estándar y la media de los datos, expresado en porcentaje,  $CV = S X 100$ . Este coeficiente permite comparar la variabilidad de diferentes muestras de una población ó la variabilidad entre variables diferentes. En general un CV menor al 10 %, dice que los datos tienen poca variabilidad, que es lo mismo que decir que los valores observados son en general, cercanos al valor medio. (R., 2008)

### 3.2.Estado del arte

El uso de aguas lluvias para mezclar, hidratar o curar el concreto es de gran importancia para la disminución considerable del uso del agua potable, es por esto por lo que, a través de los años, se han realizado investigaciones para determinar si su utilización es beneficiosa o aceptable para elaboración de mezclas de concreto o mortero, algunas de las investigaciones son:

- En el año 2012, se realizó una investigación donde se explica el comportamiento de un mortero con base a sus agregados principales como son: el tipo de cemento, arena y agua; siendo el agua de vital importancia debido a que garantiza la consistencia de la mezcla y lleva de la mano la durabilidad de esta. Se concluyó que los morteros son materiales de gran importancia en la construcción y su evolución se debe principalmente al desarrollo de sus componentes, así surgen los morteros de yeso, cal, puzolánicos, de cemento portland y los de limo los cuales fueron empleados con fines estructurales y estéticos. El desarrollo de los morteros está influenciado por los avances tecnológicos, la aparición de nuevos materiales y el desarrollo de la industria química para la construcción donde se destacan los morteros restauradores de estructuras. Consuegra, Vázquez, Torres (2012)
- En la ciudad de las Palmas, Brasil se llevó a cabo una investigación en la cual se reutilizó el agua recolectada por las fuertes lluvias en épocas de invierno en la producción de bloques de hormigón que no estarán sometidos a esfuerzos, básicamente bloques de mampostería, generando un ahorro

monetario considerable, el artículo hace un análisis económico, donde muestra el consumo anual de agua limpia en el sector de la construcción por lo que se concluye que es una alternativa viable para la elaboración de bloques de hormigón, si bien es cierto no se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, si se llevó a cabo una caracterización estándar del agua captada, estudiando parámetros como el pH, olor, color y presencia de impurezas, garantizando así que cumple con los estándares de calidad exigidos. Esta investigación concluyó que los hallazgos pueden obtener decisiones del sitio sobre si continuar o suspender la construcción con base a la precipitación pronosticada. Por otro lado, si el concreto sometido a lluvia después de la fundición, el ingeniero tendrá una ecuación que se puede usar como guía para determinar la nueva resistencia a la compresión del concreto. (Oliveira, Silva, & Fernandes, 2016)

- En el sector de la construcción cada vez más se busca el ahorro de los recursos brindados por la naturaleza, principalmente el consumo de agua, el cual es desmesurado en cada proceso constructivo, por lo que en el año 2014 en la ciudad de Medellín se realizó la investigación: concreto confeccionado con aguas lluvia: un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción llevado a cabo por la universidad nacional, se realizaron moldes cilíndricos a los que se les realizó pruebas de resistencia hasta el día 28, los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

La resistencia promedio de los cilindros a 1 día en mega-pascal (medida de resistencia a la compresión del hormigón) fue de 7,62 para el agua de lluvia y de

7,24 con el agua potabilizada, mientras que a los 28 días la proporción fue de 27,51 y 27,24 respectivamente, mostrando mayor resistencia.

Finalmente, el constructor resaltó que esta propuesta significaría una reducción importante del uso de agua en las construcciones y por tanto contribuiría al cuidado del medioambiente y la disminución de costos.

De acuerdo con los resultados de esta investigación en el caso del concreto la resistencia con agua lluvia aumentaría, lo cual toca verificar si en el caso del mortero ocurre lo mismo, sin embargo, hay que tener en cuenta los parámetros físicos y químicos que tiene el agua lluvia de la zona donde se recogió, puesto que algunas propiedades podrían alterar el concreto. Medina (2014),

- En el año 2015, en la universidad nacional de Tunja se llevó a cabo una investigación que tuvo como objetivo aprovechar el agua lluvia en la construcción, donde en primera medida se pretende disminuir el uso excesivo de agua potable. En la presente investigación, el agua utilizada no generó resultados negativos en el comportamiento del concreto desde el punto de vista físico-mecánico.

De manera comparativa, las resistencias obtenidas a la compresión son iguales en cada una de las mezclas. Es importante aclarar que las mezclas presentaban alta relación agua – cemento, la cual fue de 0.60, la cual es alta, disminuyendo la resistencia y la durabilidad a largo plazo del concreto endurecido.

En este estudio, además, se destaca la apariencia física, teniendo en cuenta que el color del agua lluvia era más turbio que el de agua potable utilizada

De acuerdo con esta investigación se deben tener en cuenta el estudio del aire, contaminación que puedan afectar el agua lluvia, haciendo respectivos análisis de varios puntos donde el agua se recogerá, esto con el fin de conocer si el agua es apta o no para la preparación del concreto, a pesar de que la zona de estudio era muy contaminada la resistencia del concreto no afecto. Bedoya, Medina (2015),

- Carrasco (2014), realizó la investigación: agua para morteros y hormigones de Universidad tecnológica nacional.

Carrasco en su investigación centra su objetivo en garantizar que el rendimiento estructural del concreto no se vea afectada al ser elaborados con agua lluvia, haciendo una construcción sostenible desde todo punto de vista, donde no solo comprobó a través de ensayos de resistencia a la compresión que es una alternativa viable, también verificó con la realización de una caracterización profunda del agua, que los resultados obtenidos están en su mayoría dentro de los exigidos incluso para el consumo humano, donde con poco tratamiento podría ser potabilizada, sin embargo infiere que es importante conocer, además, la procedencia o características del agua de mezclado a utilizar, debido a que el riesgo es significativo incluso siendo la relación “a/c” la deseada.

Si el agua no tiene algún gusto, olor o color particular, y no es gaseosa o espumosa cuando se agita, no hay razón para asumir que podrá dañar al hormigón cuando se use como agua de mezclado. Las aguas que pueden considerarse perjudiciales son aquellas que contienen excesivas cantidades de azúcar, ácidos, materia orgánica, aceites, sulfatos, sales alcalinas, efluentes de cloacas, sólidos suspendidos y gases.

#### 4. Presupuesto

Para la ejecución del presente proyecto fue necesario realizar una inversión económica para el costeo de materiales y servicios.

Tabla 3.

Presupuesto utilizado para la ejecución del proyecto

<b>Presupuesto</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Cemento gris	2	kg	\$ 1.600	\$ 3.200
Arena	2,5	kg	\$ 3.500	\$ 8.750
Impermeabilizante Emulsión asfáltica	1	Unid.	\$ 20.000	\$ 20.000
Cal	2	kg	\$ 1.000	\$ 2.000
Moldes de madera	2	Unid.	\$ 30.000	\$ 60.000
Falla de cubos	18	unid.	\$ 6.000	\$ 108.000
Transporte	6	viajes	\$ 4.000	\$ 24.000
<b>Total</b>				<b>\$ 225.950</b>

Fuente: Autores

#### 5. Metodología

La presente investigación, se llevó a cabo a través de una metodología experimental la cual consta de 8 etapas para su ejecución, para la realización de estas, fue necesario recurrir a normas las cuales mencionaremos a continuación:

##### 5.1. Captación de agua

El agua lluvia que fue utilizada para la fabricación de los cubos de morteros fue obtenida en el municipio de Sabanalarga, Atlántico, Colombia.

Para lograr mejores resultados, y evitar posibles alteraciones en la composición del agua, la recolección se dio en temporada de lluvia, es importante recalcar que no fue

la primera lluvia del año en el municipio. Además, el agua obtenida fue recogida 15 minutos después de iniciada la lluvia, debido a que de esta forma se logra una disminución en el nivel de contaminación de esta.



Figura 1: Captación de agua en el municipio de Sabanalarga

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

La cantidad de agua recolectada fue de 2.5 litros, los cuales para su correcto manejo se mantuvo a una temperatura entre 8 – 15 °C.

#### 5.2. Caracterización de agua lluvia:

Para determinar los parámetros del agua de lluvia en estudio, fue necesario realizar una caracterización de esta. Para este caso, se utilizó el laboratorio de ciencias ambientales de la Universidad De La Costa, en donde se realizaron las pruebas descritas a continuación:

Tabla 4.

Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua

PARÁMETROS	NORMA TÉCNICA	UNIDAD
Turbiedad	NTC 4707	NTU
Color	NTC 813	UPC
pH	NTC 3651	pH
Oxígeno disuelto	NTC 4705	ppm
Alcalinidad	NTC 4803	mg / l
Conductividad	NTC 4531	$\mu$ S
Dureza	NTC 4706	Mg/l
Temperatura	N/A	$^{\circ}$ C

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*



Figura 2: Equipos utilizados para la caracterización de agua lluvia

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

### 5.3. Elaboración de moldes

Los moldes con los que se realizaron los cubos contaban con las medidas establecidas en la norma ASTM C 109, (2"x2") para este caso, el material utilizado

fue madera, por lo que fue necesario impermeabilizar la superficie en contacto con los especímenes para no alterar los resultados finales de las muestras.



Figura 3: Moldes utilizados para la realización de los especímenes antes de impermeabilizar. *Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Para la impermeabilización fue utilizada emulsión asfáltica marca Sika, este material presenta en sus especificaciones técnicas referencias de su buen funcionamiento para superficies de madera.



Figura 4: Emulsión asfáltica utilizada para la impermeabilización de moldes de madera. *Fuente: Sika.*



Figura 5: Moldes de madera impermeabilizados

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

#### 5.4. Diseño de mezcla

##### 5.4.1. Cemento

La norma ASTM C 9 indica la composición de las muestras de mortero dependiendo el número de especímenes a elaborar, por lo cual fueron escogidas las siguientes cantidades:

Tabla 5.

Cantidades de materiales para la elaboración de especímenes según cantidad

Materiales	Unidad	Número de especímenes		
		6	9	12
Cemento	g	500	740	1060
Arena	g	1375	2035	2915
Agua	ml			
Portland (0.485)		242	359	514
Incorporaciones de aire (0.460)		230	340	488

Fuente: Norma ASTM C 109.

El cemento escogido para la elaboración de los especímenes fue cemento Portland tipo I, marca ULTRACEM.

Tabla 6.

Ficha técnica de cemento utilizado

PARÁMETRO DE CONTROL	MÉTODO DE ENSAYO	ESPECIFICACIÓN NTC 121	ESPECIFICACIÓN ULTRACEM
Contenido de Aire en volumen, %	NTC 224	Máx. 12,0	Máx. 12,0
Finura (permeabilidad al aire), cm <sup>2</sup> /g	NTC 33	----	----
Finura en Tamiz N° 325 (45 m), %	NTC 294	----	----
Expansión en autoclave, %	NTC 107	Máx. 0,80	Máx. 0,80
Expansión Barra de mortero, 14 días, %	NTC 4927	Máx. 0,020	Máx. 0,020
<b>TIEMPO DE FRAGUADO (Met. Vicat)</b>			
Tiempo inicial de fraguado, minutos	NTC 118	Mín. 45	Mín. 45
Tiempo final de fraguado, minutos	NTC 118	Máx. 420	Máx. 420
<b>RESISTENCIA DE LA COMPRESIÓN</b>			
1 Día MPa (psi)	NTC 220	----	Mín. 8,3 (1200)
3 Días MPa (psi)	NTC 220	Mín. 8,0 (1160)	Mín. 13,0 (1890)
7 Días MPa (psi)	NTC 220	Mín. 15,0 (2176)	Mín. 20,0 (2900)
28 Días MPa (psi)	NTC 220	Mín. 24,0 (3481)	Mín. 28,8 (4060)

Fuente: Cementos Ultracem.

#### 5.4.2. Arena

La arena utilizada para la elaboración de los especímenes fue proveniente del municipio de Santo Tomás, Atlántico, Colombia.

A este material se le realizó una prueba de granulometría, en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de la Costa, para determinar si cumplía con las características requeridas en la norma I.N.V.E – 323 – 07.

Tabla 7.

Requerimientos de arena para cubos de mortero

Tamices	Alternativo	% que pasa
118 $\mu$ m	(No. 16)	100
600 $\mu$ m	(No. 30)	96 - 100
425 $\mu$ m	(No. 40)	65 - 75
300 $\mu$ m	(No. 50)	20 - 30
150 $\mu$ m	(No. 100)	0 - 4

Fuente: Norma I.N.V.E 323 – 07.

#### 5.4.3. Agua

La norma ASTM C109 recomienda una relación agua – cemento de 0.485 para cementos portland.

Teniendo en cuenta este valor, la cantidad utilizada para 18 especímenes fueron calculadas de la siguiente manera:

$$0.485 = \frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$$

$$\text{Agua} = 0.485 * (740 \text{ g})$$

*Cantidad de agua = 360 g para cada tipo de mezcla*

#### 5.5. Elaboración de especímenes

Una vez mezclado de manera uniforme las cantidades previamente establecidas, se procedió a encofrar el material en los moldes, es importante destacar que antes de este proceso se utilizó Vaselina para evitar que una vez desencofrado se presentaran

inconvenientes y pérdida de material. Por cada espécimen se aplicaron 3 capas, a los cuales se les proporcionaron la cantidad de golpes establecidos en la norma para eliminar el contenido de vacíos presentes en la mezcla.



Figura 6: Elaboración de especímenes

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*



Figura 7: Especímenes de agua lluvia terminados

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Cada espécimen se etiquetó con la inicial P (Agua Potable) o LL (agua lluvia) para hacer distinciones.



Figura 8: Etiqueta de especímenes

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

#### 5.6.Desencofrado

El desencofrado de los especímenes fue realizado 24 horas después de su elaboración.



Figura 9: Desencofrado de especímenes, 24 horas después de elaborados

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

#### 5.7.Curado

A las 24 horas de elaborados y posteriormente desencofrado, los especímenes fueron sumergidos en agua con cal durante 72 horas.



Figura 10: Especímenes previos a la etapa de curado

*Fuente: Elaboración propia Morales L*



Figura 11: Preparación de agua con cal para curado

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*



Figura 12: Especímenes sumergidos en agua con cal.

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Pasado 72 horas de curado en cal, los especímenes fueron sumergidos en agua potable, hasta el día de su prueba de laboratorio.

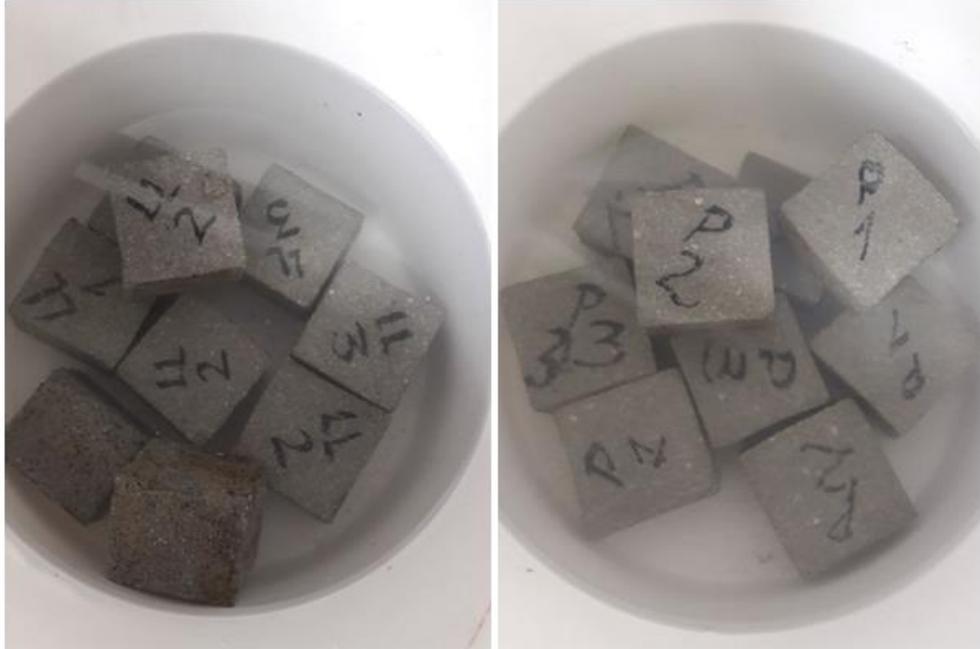


Figura 13: Curado de especímenes en agua potable

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

#### 5.8.Falla de especímenes

Una vez cumplidos, 7, 14 y 28 días, a los cubos se le realizó una prueba de resistencia a la compresión en el laboratorio Incosuelos, ubicado en la ciudad de Barranquilla.



Figura 14: Falla de especímenes en el laboratorio INCOSUELOS

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*



Figura 15: Especimen de mortero después de fallado Fuente: Morales L.

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterización de materiales

Los resultados se presentaron de acuerdo a las etapas desarrolladas en la metodología del presente trabajo, donde primeramente se realizó la caracterización de los materiales, se llevó a cabo el análisis de los parámetros físicos del agua captada en el laboratorio CITA, del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad De La Costa, en segundo lugar se efectuó la granulometría de la arena utilizada y posteriormente la elaboración de los especímenes con base a la dosificación establecida por la norma.

Se presenta a continuación un análisis estadístico de los resultados que tiene como finalidad estudiar el comportamiento de las resistencias de los cubos elaborados con agua lluvia con respecto al control positivo (agua potable), se llevó a cabo una comparación de la resistencia a la compresión obtenida para ver su variabilidad y si es factible o no el uso de agua lluvia como alternativa sostenible en la elaboración de morteros hidráulicos.

#### 6.1.1. Caracterización del agua

La caracterización del agua se realizó en el laboratorio CITA, del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de la Costa (CUC), donde se comparó con lo establecido en el decreto 2115 de 2007 y la Norma técnica colombiana NTC 3459, la cual indica los parámetros del agua, utilizada para elaboración de concreto.

Se realizaron ensayos de Turbiedad, alcalinidad, pH, color, dureza, oxígeno disuelto y conductividad y los resultados fueron:

Tabla 8.

Resultados obtenidos de la caracterización del agua lluvia

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	3,46
Color	UPC	50
pH	pH	5,84
Oxígeno disuelto	ppm	1,24
Alcalinidad	mg / l	80
Conductividad	$\mu$ S	46,3
Dureza	Mg/l	84
Temperatura	°C	NA

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Tabla 9.

Valores obtenidos de agua lluvia y valores exigidos por las normas de agua potable y agua para concretos.

PARÁMETROS	UNIDAD	AGUA LLUVIA	AGUA POTABLE	AGUA PARA CONCRETO
		VALOR	VALOR máx adm	VALOR
Turbiedad	NTU	3,46	2	NA
Color	UPC	50	15	NO OSCURO
pH	pH	5,84	9	5>
Oxígeno disuelto	ppm	1,24	NA	NA
Alcalinidad	mg / l	80	200	1000
Conductividad	$\mu$ S	46,3	1000	1000
Dureza	Mg/l	84	300	NA
Temperatura	°C	NA	NA	NA
			res 2115/ 2007	NTC 3459

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Una vez analizados los resultados de los parámetros obtenidos del agua lluvia, se determinó el nivel de acidez presentado de este tipo de agua a través del pH, este resultado fue favorable para diferentes usos, incluyendo el consumo humano, debido a que se encuentran en los estándares exigidos por el decreto 2115 de 2007, la cual

exige un valor menor a 9 unidades de pH; otro de los parámetros importantes objeto de estudio, es la turbiedad, la cual básicamente mide la transparencia de un líquido, se determinó que cumple con lo establecido en la norma NTC 3459 para elaboración de mezclas de mortero, pero no para el consumo humano, como lo establece la resolución 2115 de 2007.

Cabe resaltar que dichos parámetros dependen en gran medida de la zona de recolección de la muestra, sus niveles de contaminación y exposición a emisión de gases producidos por las diferentes actividades humanas.

Básicamente se observó que las exigencias para el agua en la elaboración de morteros y concretos hidráulicos se basa es el estudio del pH, ya que, al medir la acidez, esta tendría una gran incidencia en el comportamiento de la resistencia a la compresión.

#### 6.1.2. Granulometría

Se llevó a cabo un ensayo de granulometría por tamizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de la Costa, el material seleccionado para la realización de este ensayó, es proveniente de la cantera “Suministros de Colombia – SUMICOL” de Santo Tomas, Atlántico, a la cual se le realizó una comparación con los porcentajes exigidos por la norma INV E – 323 - 07 en la sección “Materiales” para la elaboración de morteros de cemento hidráulico. La norma establece los siguientes porcentajes:

Tabla 10.

porcentaje requerido por la INV E 232. 07 para la arena para morteros.

Tamices	Alternativo	% que pasa
118 $\mu\text{m}$	(No.16)	100
600 $\mu\text{m}$	(No.30)	96-100
425 $\mu\text{m}$	(No.40)	65-75
300 $\mu\text{m}$	(No.50)	20-30
150 $\mu\text{m}$	(No.100)	0-4

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Tabla 11.

resultados arena utilizada vs resultados exigidos por la norma.

Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido %	% retenido acumulado %	% pasa %	% Norma %
0,001	0,2	0,2	99,8	100
0,023	4,6	4,8	95,2	98
0,17	34	38,8	61,2	70
0,153	30,6	69,4	30,6	25
0,132	26,4	95,8	4,2	2
0,021	4,2	100	0	0
0,5	100			

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Se realizó una curva granulométrica, en la cual se hizo una comparación de los resultados obtenidos para comprobar así, que la arena que utilizamos cumple con los estándares de calidad establecidos por las normas correspondientes.

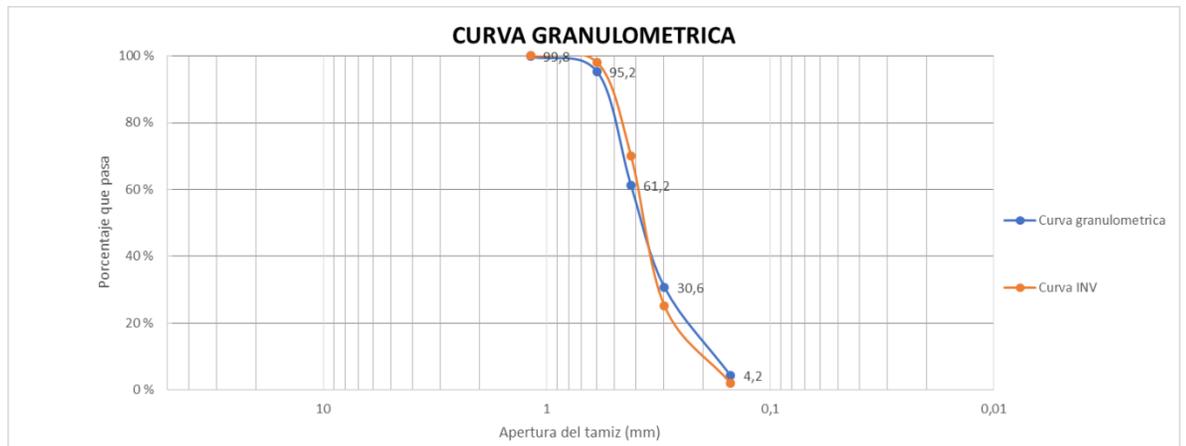


Figura 16: Comparación de material utilizado VS Material exigido por la Norma NTC 323 - 07 a través de una curva granulométrica.

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

A través de la realización del ensayo de granulometría por tamizado y de la elaboración de la curva granulométrica, se compararon los resultados porcentuales de la cantidad de material que debe ser retenida en los diferentes tamices, se concluyó que la arena utilizada cumple con las condiciones establecidas en la norma, la cual no excede un error mayor al 10%, lo que la hace factible para la realización de la presente confección de morteros hidráulicos.

## 6.2. Proporciones para el diseño de la mezcla de mortero

La norma ASTM C109 nos indica la composición de las muestras de mortero dependiendo del número de especímenes que se desea elaborar, por lo cual fueron escogidas las siguientes proporciones:

Tabla 12.

Dosificación de materiales según la Norma ASTM C109

Materiales	Unidad	Número de especímenes		
		6	9	12
Cemento	g	500	740	1060
Arena	g	1375	2035	2915
Agua	ml			
Portland (0.485)		242	359	514
Incorporaciones de aire (0.460)		230	340	488

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

### 6.2.1. Relación agua cemento

La relación agua/cemento se puede definir como proporción óptima para nuestro diseño de mezcla de mortero, la cual es básicamente la cantidad efectiva de agua y la masa del cemento (7, 1978), este parámetro es el cociente dado entre la cantidad de agua y cemento en masa, se define como:

$$R = \frac{A}{C}$$

#### **Dónde:**

R= relación agua cemento.

A= cantidad de agua en gramos.

C: cantidad de cemento en gramos.

La relación A/C dada según las cantidades utilizadas en esta investigación es la siguiente:

$$R = \frac{359g}{740g} = 0,484$$

Se considera una relación óptima debido a que incide directamente en la trabajabilidad de la mezcla, debido a que relaciones menores aumentan la durabilidad pero la maleabilidad y la fluidez del mortero tienden a disminuir, por el contrario” ( Best support underground., 2018) (2)

Tabla 13.

relación A/C Vs Resistencia a la compresión del cemento

A/C	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )
0,36	420
0,4	370
0,45	340
0,5	295
0,55	275
0,6	230
0,65	220
0,7	185
0,75	165
0,8	140

*Fuente: Efecto de la variación agua cemento*

## 7. Análisis resultados

Antes de entrar en la explicación e interpretación de los resultados obtenidos se debe tener en cuenta la identificación de cada uno de los especímenes que fueron objeto de estudio, para una correcta identificación los cubos fueron etiquetados con las siglas CAP (cubo de agua potable) y CALL (cubo de agua lluvia), a los cuales se le asignó una numeración que indica la línea de tiempo de fallado de los especímenes, es decir, los cubos con la numeración “1” son los cubos fallados a los 7 días, los cubos con la numeración “2”, fallados a los 14 días y por último los cubos con “3”, fallados a los 28 días. Cabe resaltar que los especímenes fueron ensayados en un laboratorio externo a la universidad, específicamente el LABORATORIO INCOSUELOS INGENIEROS CIVILES S.A.S, ubicado en la carrera 65, calle 84 n° 84-27, en la ciudad de Barranquilla.

### 7.1. Resistencias obtenidas de la falla de los especímenes de mortero hidráulico

#### 7.1.1. Resistencia a los 7 días

Tabla 14.

Resistencia a la compresión a los 7 días

MUESTRA	FECHA		EDAD (DIAS)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO	RESISTENCIA MEDIA POR CUBO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
	TOMA	ENSAYO						
CAP 1	16-abr-18	23-abr-18	7	7299	1825	1689	288	0,2
CAP 1	16-abr-18	23-abr-18	7	5429	1357			
CAP 1	16-abr-18	23-abr-18	7	7534	1884			
CALL 1	16-abr-18	23-abr-18	7	6866	1717	1608	220	0,1
CALL 1	16-abr-18	23-abr-18	7	5420	1355			
CALL 1	16-abr-18	23-abr-18	7	7010	1753			

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

### 7.1.2. Resistencia a los 14 días

Tabla 15.

Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 14 días

MUESTRA	FECHA		EDAD (DIAS)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO (PSI)	RESISTENCIA MEDIA POR CUBO (PSI)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
	TOMA	ENSAYO						
CAP 2	16-abr-18	30-abr-18	14	6726	1682	1694	105	6,2
CAP 2	16-abr-18	30-abr-18	14	6380	1595			
CAP 2	16-abr-18	30-abr-18	14	7218	1805			
CALL 2	16-abr-18	30-abr-18	14	6865	1716	1679	52	3,1
CALL2	16-abr-18	30-abr-18	14	6479	1620			
CALL 2	16-abr-18	30-abr-18	14	6807	1702			

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

### 7.1.3. Resistencia a los 28 días

Tabla 16.

Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 28 días

MUESTRA	FECHA		EDAD (DIAS)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO (PSI)	RESISTENCIA MEDIA POR CUBO (PSI)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
	TOMA	ENSAYO						
CAP 3	16-abr-18	15-may-18	28	10551	2638	2107	489	23,2
CAP 3	16-abr-18	15-may-18	28	8030	2008			
CAP 3	16-abr-18	15-may-18	28	6701	1675			
CALL 3	16-abr-18	15-may-18	28	9027	2257	2114	125	5,9
CALL 3	16-abr-18	15-may-18	28	8230	2058			
CALL 3	16-abr-18	15-may-18	28	8111	2028			

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

7.1.4. Comparación de datos obtenidos

Una vez obtenidos los valores de las resistencias a las diferentes edades de falla, se realizó una comparación de resultados:

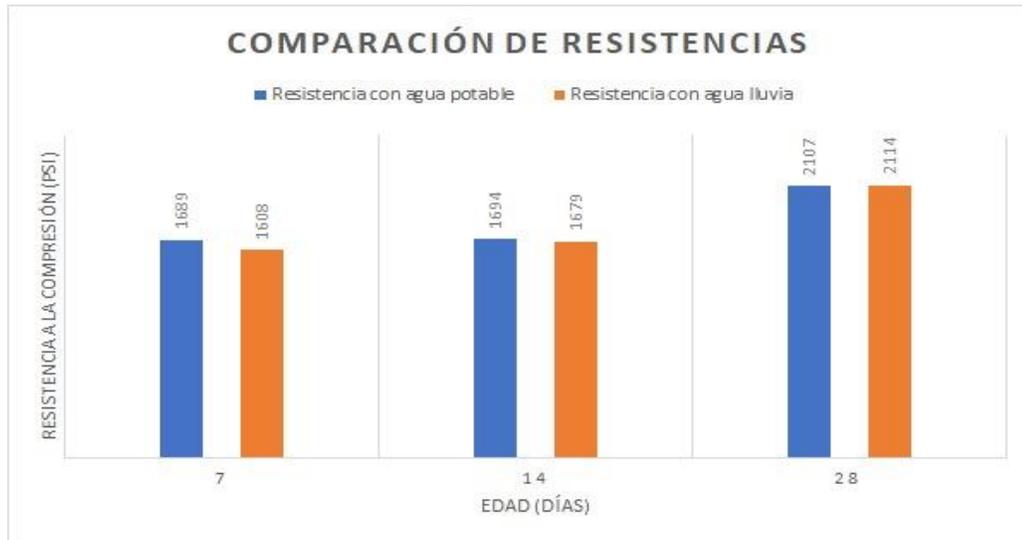


Figura 17: Comparación de resistencias obtenidas

Fuente: *Elaboración propia Morales L.*

7.1.5. Grafica comparativa de resistencias

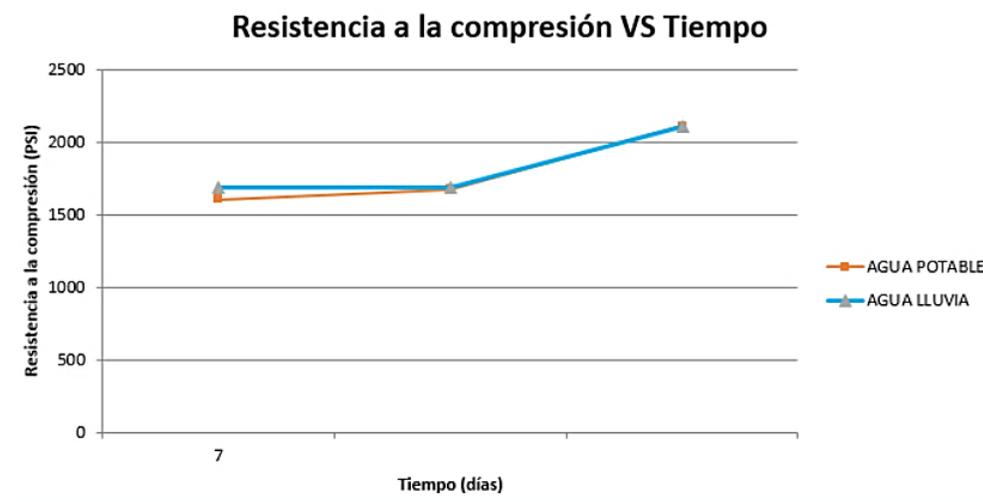


Figura 18: Comparación de resistencia a la compresión VS Tiempo

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

## 7.2. Análisis estadístico de los resultados

Tabla 17.

Resultados de desviación estándar y coeficiente de variación de los datos.

Edad de falla	AGUA LLUVIA			AGUA POTABLE		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
7 días	1608	220	14%	1689	288,3710	17%
14 días	1679	52	3%	1694	105,2786	6%
28 días	2114	124,52	6%	2107	488,8782	23%

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

Se observó una variación significativa debido a la dispersión de datos, sin embargo la media arrojó una variación mínima, con la cual se analizó calculando el coeficiente de variación, con la media dada entre las resistencias obtenidas de agua lluvia y potable a cada uno de los días de fallado, comprobando que a los 28 días, donde el mortero adquiere su resistencia máxima no tuvo variación considerable, llegando así a los resultados esperados en esta investigación. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 18.

variación entre la resistencia del agua lluvia y agua potable, con respecto a la media.

Edad (días)	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
7	1648,25	56,9221	3%
14	1686,46	10,1941	1%
28	2110,42	5,0676	0,24%

*Fuente: Elaboración propia Morales L.*

### 7.3. Análisis de datos a través de la ecuación del error porcentual

Otra forma para analizar la variabilidad entre los datos obtenidos es utilizando la ecuación del Error porcentual, la cual establece una diferencia entre el valor estimado y el valor real, siendo la resistencia del agua potable nuestro valor referencia, es decir, el valor real y el valor estimado la resistencia dada por el mortero elaborado con agua lluvia.

El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$Var (\%) = \frac{\text{control positivo} - \text{agua lluvia}}{\text{control positivo}} * 100$$

#### 7.3.1. Variación a los 7 días

$$Var (\%) = \frac{1689 - 1608}{1689} * 100 = 4,77\%$$

#### 7.3.2. Variación a los 14 días.

$$Var (\%) = \frac{1694 - 1679}{1694} * 100 = 0,851\%$$

#### 7.3.3. Variación a los 28 días.

$$Var (\%) = \frac{2107 - 2114}{2107} * 100 = 0,34\%$$

La variación entre los datos no es considerable por lo que comprobamos que se puede utilizar agua lluvia en la confección de morteros hidráulicos sin afectar la

resistencia a la compresión y características generales establecidas en las normas nacionales e internacionales.

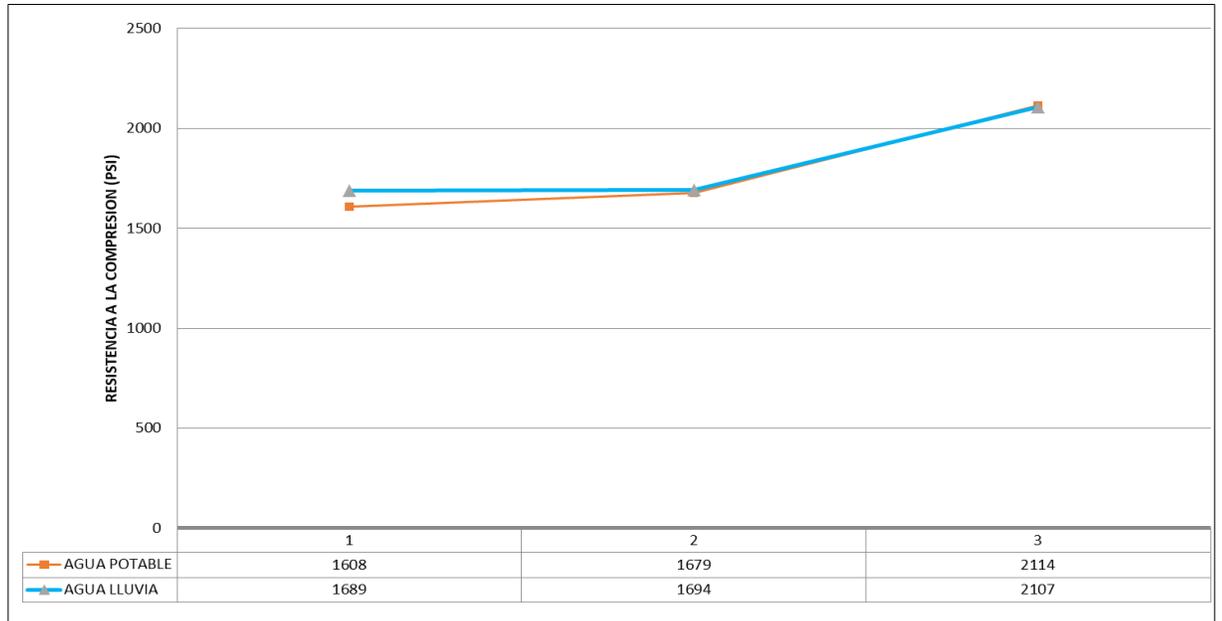


Figura 19: evolución de la resistencia a la compresión del agua potable vs agua lluvia. Fuente: *Elaboración propia Morales L.*

## 8. Conclusiones

A través de la realización de la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- La confección de una mezcla para mortero utilizando agua lluvia no contribuyó a cambios significativos en su resistencia a la compresión y parámetros físicos, estadísticamente hablando observamos que la diferencia entre sus resultados a los días de falla analizados no supera el 5%, con respecto al control positivo (agua potable), por lo que puede ser empleada sin problema alguno en la elaboración de morteros hidráulicos.
- La mezcla y confección de morteros hidráulicos con agua lluvia no produjo cambios en las características físicas como: consistencia, manejabilidad, color, asentamiento y apariencia.
- Gracias a que los parámetros mencionados anteriormente no presentaron variación alguna hace que este tipo de mezcla pueda ser empleada en pañetes, acabados o estructuras expuestas a la vista, disminuyendo así el uso de agua potable.
- Se obtuvo que los parámetros físicos del agua están dentro de los rangos establecidos por las normas colombianas e internacionales, por lo que incluso con poco tratamiento puede ser apta para el consumo humano, para esto se debe tener en cuenta la contaminación del entorno, ya que lugares que estén expuestos a grandes emisiones de gases, probablemente afecten

negativamente las características del agua, provocando lluvia acida, cambios en sus niveles de pH, turbiedad, color, oxígeno disuelto, entre otros.

- El impacto ambiental es positivo, al usar el agua de lluvia se toma un recurso dotado por la misma naturaleza, disminuyendo el consumo masivo de agua potable para mezclas en obras de infraestructura, disminuyendo así, el costo del proyecto, evitando la degradación del ecosistema al aumentar la demanda de agua, haciendo que sean construcciones sostenibles sin afectar la resistencia, calidad, durabilidad, manejabilidad, fluencia, entre otros.

### Referencias

Best support underground. (2018, La relación agua-cemento: un frágil equilibrio).

Retrieved from Blog sobre concreto, métodos de aplicación, equipos, buenas prácticas en obra y más: <http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>

7, B. D. (1978). Suiza.

Carrasco, F. (2014). Agua para morteros y hormigones.

Consuegra, & Torres, V. (2012). Estudio del surgimiento y desarrollo de los morteros en la construcción. Matanzas: Facultad de Ingeniería Universidad de Matanzas.

Facultad de Ingeniería Universidad de Matanzas. (2012). Estudio del surgimiento y desarrollo de los morteros en la construcción . Matanzas.

Galicia Pérez, M. A., & . Velásquez Curo, M. A. (2016). ANÁLISIS

COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ADICIONADO CON CENIZA DE RASTROJO DE MAÍZ ELABORADO CON AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE CUNYAC Y VICHU CON RESPECTO A UN CONCRETO PATRÓN DE CALIDAD  $f'_c=210 \text{ KG/CM}^2$ . Cusco: Universidad Andina del Cusco.

García, J. D. (2007). Estudio de investigación de morteros con sustitución de escorias siderúrgicas utilizadas en revestimientos interiores de tubos de función. Santander.

Guzman, D. S. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores.

Oliveira, J. P., Silva, L. C., & Fernandes, F. A. (2016). Reuso da água da chuva na produção de blocos de concreto não estrutural. Palmas: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.

R., D. (2008). Estadística básica. Nicaragua: universidad nacional de ingeniería.

Rodríguez-Mora, Ó. (2003). Morteros: guía General. Madrid: Asociación nacional de fabricantes de mortero.

ANEXOS